

水蒸気同位体比データ同化による気象予測改善

2019年3月 地球環境モデリング学分野 47176610 多田真嵩

指導教員 准教授 芳村圭

キーワード: 水の安定同位体、数値予報モデル、データ同化、気象予測

1. はじめに

水の安定同位体である H^2HO や H_2^{18}O は相転移に敏感であり、雨の生成過程や海水表面における蒸発や凝結、風による移流の際に同位体分別を起こす。故に、その時空間分布は大気循環や地形などに大きく依存しており、この性質を利用した研究が広い分野でなされている。また、ここ10年程で、水の安定同位体を組み込んだモデルの開発、改善が進み、人工衛星による宇宙からの観測もなされるようになってきている。そのような背景の下、Yoshimura et al.2014(以後、Y14)は、Observation System Simulation Experiment(OSSE)を1ヶ月間行い、水蒸気同位体比をデータ同化することで、大気循環場をより正確に再現できることを示唆した。OSSEとは、計算機上に仮想的な観測システムを構築し、その性能を評価する実験である。その結果、水蒸気同位体比の場だけではなく、気温場や風速場など、同化していない変数についても解析精度が向上した。しかし、時間が経つにつれて次第に精度が落ちていく、あるいは、変数次第では非データ同化実験よりも悪化するという問題も見られた。

そこで、本研究では、3ヵ月間の理想化実験、最先端の赤外線分光計IASIを想定した理想化実験、そして、実際にIASIが観測したデータを用いた予測実験を行い、水蒸気同位体比が大気循環場を再現する能力があるのか、今まに行われている水蒸気同位体比観測の意義について検証、評価する。

2. 手法

・数値予報モデル : IsoGSM

本研究では、数値予報モデルとして、Isotope-incorporated Global Spectral Model (IsoGSM)を用いる。IsoGSMは、米国環境予測センターとスクリプス海洋学研究所により開発されてきた大気大循環モデル(GSM)に水蒸気同位体であるHDOと H_2^{18}O を予報変数として組み込み構築された(Yoshimura et al.2008)。IsoGSMでは、水の安定同位体は、大気循環過程、サブグリッドスケール過程(対流、境界層乱流)によって移流、輸送される。また、雨の生成過程、蒸発過程や表面からの蒸発など、相転移における分別についても詳細に定式化されている。

・データ同化スキーム : LETKF

本研究では、データ同化スキームとして、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を用いる。アンサンブルカルマンフィルタでは、与えられた観測誤差共分散行列と第一推定値から導出される背景誤差共分散行列の結果から計算される予報誤差共分散行列から最も良いとされるカルマンゲインを推定し、それぞれのメンバーの解析値を求める。他のアンサンブルカルマンフィルタは、観測値を1つ1つ逐次的に同化するが、LETKFでは各格子点毎に独立しており

複数の観測値を一度に同化する。したがって、LETKF は他のアンサンブルカルマンフィルタ手法と比較すると並列計算効率が高いという特徴がある。

・ 計算プロセス

以下に計算プロセスを示す。1.摂動を与えた30のアンサンブルメンバーを作成する、→2.第一推定値(予報値)を計算する。→3.LETKF によるデータ同化を行う、4.解析値(次のタイムステップの初期値)を計算する、5.→計算された初期値から第一推定値を計算する。この2-5のプロセスを繰り返す。

3. 結果および考察

本研究では、理想化実験と実測データ同化実験を行った。理想化実験については、2006年の1月1日から4月1日までを解析対象期間とし、TES、SCIAMACHY、GNIP、IASI を同化した実験を行った。理想化実験の結果から、水蒸気同位体比を同化することで、少なくとも3ヵ月間は解析精度が担保されることや、IASI を同化することによって解析精度に大きな改善を及ぼすことが示唆された。これを踏まえ、IASI の実測データ同化実験を行った。実測データ同化実験は、データが存在する4月1日から4月30日までをデータ同化する実験と、データが存在しない5月1日以降を予測する実験を行った。データ同化期間においては、実際に観測された水蒸気同位体比をデータ同化することで、水蒸気同位体比だけでなく気温を含む多くの気象変数の解析精度が向上した。その例として、図 1 は IASI を同化した実験と非データ同化実験の誤差を時系列で表しており、上段が同化した変数である $\delta^2\text{H}$ 、下段が 2m 気温である。非データ同化実験(黒)より IASI 同化実験(赤)のほう精度よく解析出来ているのが見て取れる。予測実験の詳細な設定は省略するが、5月1日以降を予測する実験においても IASI をデータ同化した実験では非データ同化実験よりも予測精度が向上した。本研究より、水蒸気同位体比をデータ同化することで、多くの気象変数における予測が改善されることが判明した。IASI のような高性能な赤外線分光計の果たす役割もきわめて大きいと言える。

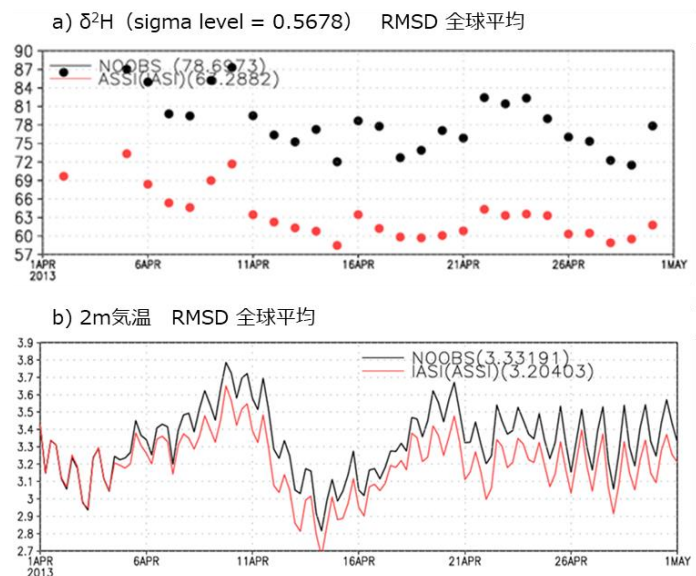


図 1. 観測値に対するシミュレーションの水蒸気同位体比の RMSD の全球平均(上段)、再解析データに対するシミュレーションの 2m 気温の RMSD の全球平均(下段)。黒、赤のマークがそれぞれ、非データ同化実験、IASI 同化実験を示している。

引用文献.

- Yoshimura, K., M. Kanamitsu, D. Noone, and T. Oki (2008), Historical isotope simulation using reanalysis atmospheric data, *J. Geophys. Res.*, 113, D19108, doi:10.1029/2008JD010074.
- Yoshimura, K., T. Miyoshi, and M. Kanamitsu (2014), Observation system simulation experiments using water vapor isotope information, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 7842–7862, doi:10.1002/2014JD021662.

Improving weather forecast by assimilating water vapor isotopes ratio

Mar. 2019 Numerical Modeling for Global Environment Issues

47176610 Masataka Tada

Supervisor Associate Professor, Kei Yoshimura

Keyword: water isotopes, numerical model, data assimilation, weather forecast

I Introduction

Heavy water stable isotopes tend to more evaporate and less condense than normal light water. This sensitivity to phase change is the essential cause of spatio-temporal distribution of water vapor isotopes on the earth. Therefore, there are many researches using these unique characteristics. Under this background, Yoshimura et al. (2014) conducted Observation System Simulation Experiments (OSSE) for 1 month using the isotope general circulation model and the virtual satellite observations for water vapor isotopes, and they found the potential of the water vapor isotopes to constrain atmospheric dynamics.

However, since OSSE is to evaluate the performance of virtual observation system synthesized in a computer, there are some problems to be solved. One of the examples is that, as time goes, the overall accuracy seemingly became worse. In this study, I first extended the OSSE in Y14 to 3 months and OSSE assimilating mocked IASI. Furthermore, forecast experiments using actual IASI data are also conducted. I evaluated the ability for water vapor isotopes to constrain atmospheric dynamics and the practical merit of water vapor observation from satellite-onboard sensors.

II Method

• Numerical model : IsoGSM

In this study, I have used Isotope-incorporated Global Spectral Model (IsoGSM) as a numerical model. IsoGSM was constructed by incorporating gaseous forms of isotopic species (HDO and H₂¹⁸O) into the Scripps Experimental Climate Prediction Center (ECPC) Global Spectral Model (GSM) as prognostic variables by Yoshimura et al (2008). In IsoGSM, water vapor advection, water condense of water evaporation while convention and isotope fractionation are written in detail.

• Data assimilation scheme : Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF)

I have used Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) as a data assimilation system. LETKF have characteristics which is better calculate efficiency and lighter than ordinary data assimilation system.

• Calculation process

Calculation process is following. 1. Make 30 perturbed ensemble members, 2. calculate first guesses, 3. data assimilation using LETKF, 4. make analysis values (forecast values), 5. → make first guess by put analysis value as initial value into IsoGSM, then these 2-5 processes is repeated.

III Result and Discussion

In this study, I first conducted ideal experiments and actual data assimilation experiments. Ideal experiments were conducted assimilating mocked observation data from TES, SCIAMACHY, GNIP, and IASI with the period from January 1 to April 1, 2006. I evaluated improvement and deterioration by comparing assimilated experiments with non-assimilated experiment. From the results of the ideal experiments, it was suggested that assimilating the water vapor isotope ratio ensures the accuracy of analysis for at least 3 months and that the assimilation of IASI would have more positive effect on improvement of analysis accuracy. Assimilation experiments using real IASI observation data were conducted for the period from April 1st to April 30th when the observation data is available. Then forecasting experiments after 1st May without any observation data are conducted. Figure 1 shows the errors of these experiments with and without assimilating IASI data. As shown in Fig. 1, during the data assimilation period, water vapor isotopic ratios are better analyzed than no-assimilation experiment.

Not only the water vapor isotope ratio, but also the accuracy of analysis of many other variables including surface air temperature were improved. By the forecast experiments which predict from May 1, I confirmed that the prediction accuracy for many atmospheric variables was improved from the non-assimilation experiment. From this study, it was found that prediction in many variables was improved by data assimilation of water vapor isotope ratio. Thus I conclude that a high-performance infrared spectrometer like IASI may play a large role to improve the skill of numerical weather forecast.

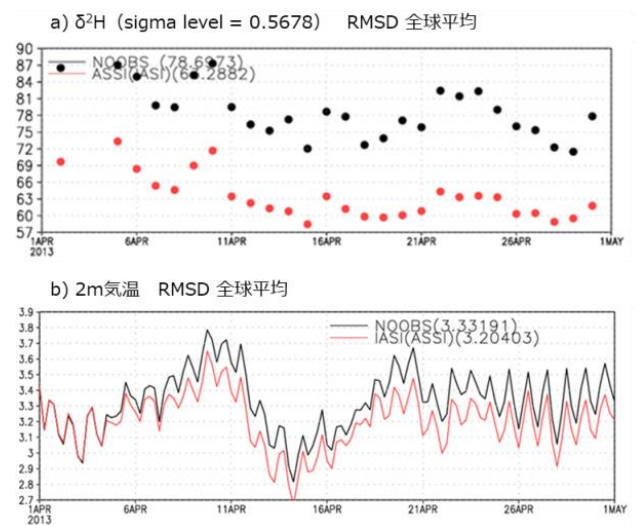


Fig.1 Global average of RMSD of water vapor isotope ratio of simulation to observation value (upper row), global mean of RMSD of 2 m of simulation for reanalysis data (lower row).

Reference

- Yoshimura, K., M. Kanamitsu, D. Noone, and T. Oki (2008), Historical isotope simulation using reanalysis atmospheric data, *J. Geophys. Res.*, 113, D19108, doi:10.1029/2008JD010074.
- Yoshimura, K., T. Miyoshi, and M. Kanamitsu (2014), Observation system simulation experiments using water vapor isotope information, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 7842–7862, doi:10.1002/2014JD021662.